

14X200014

DEMANDE DE BREVET EN FRANCE

déposée le : 10.12.1991

sous le N° d'Enregistrement National : 91 15308

AU NOM DE GENERAL ELECTRIC CGR S.A.

avec l'intitulé : Procédé d'analyse d'images.

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Titre anglais :

Invention de : GRIMAUD Michel

V/Réf. :

Réf.dossier : 011422

Rédaction de M. Christian SCHMIT

N° de publication :

Date de délivrance :

OBSERVATIONS

PROCEDE D'ANALYSE D'IMAGES

La présente invention a pour objet un procédé d'analyse d'images dont le but est d'améliorer la lisibilité des images analysées. Elle s'applique au traitement de toutes les images, à une, deux ou trois dimensions, et elle est particulièrement utile dans le domaine médical. Elle concerne cependant tous les domaines où des images sont acquises, par un moyen de mesure quelconque, d'une grandeur physique d'un objet étudié. Cette mesure résulte en un signal d'image. La grandeur physique peut être une grandeur visible, et le procédé concernera alors, par exemple, les images acquises avec une caméra de télévision. Ou bien elle peut être une grandeur invisible, par exemple le coefficient d'absorption des rayons X dans un tissu, mais transformé en une grandeur visible par un traitement. Les images concernées seront de préférence des images numérisées parce que le traitement par ordinateur de telles images est plus simple. Cependant, selon le procédé de l'invention, le traitement analogique est aussi possible.

Une des applications de l'invention est un procédé de contourage d'objets dans une image, par exemple avec un traitement dit LIGNE DE PARTAGE DES EAUX (LPE), comme publié dans SEGMENTATION D'IMAGES ET MORPHOLOGIE MATHEMATIQUE, Thèse Ecole des Mines de Paris, S. BEUCHER, Juin 1990. On y utilise des minima, ou des maxima, sélectionnés par exemple avec le procédé de l'invention dans une première étape, pour repérer les objets à contourer. Ces minima ou maxima sélectionnés sont donc des marqueurs trouvés automatiquement. Une

fois que ceux-ci sont repérés, on cherche à extraire automatiquement leur contour avec l'algorithme LPE. Cette dernière transformation est elle même mise en oeuvre avec succès à l'aide d'un procédé dit de traitement par FILES D'ATTENTES HIERARCHISEES ou FAH
 5 publié dans "Un algorithme optimal de ligne de partage des eaux", Fernand MEYER, Proceedings Congres AFCET, Lyon, Novembre 91, page 847-859.

En effet, dans des procédés de contourage automatique il est parfois nécessaire de marquer au préalable dans l'image les zones de cette image qui doivent être délimitées. Ce marquage peut être manuel. Il conduit alors à une procédure peu pratique d'interaction entre l'opérateur et la machine de
 10 traitement. Il peut de préférence être lui-même automatique. Mais de manière à rendre significatifs les points d'image marqués, ou marqueurs, ceux-ci sont déterminés selon l'invention par la comparaison de leur dynamique à un seuil.

20 Dans une autre application l'invention sert à repérer dans une image angiographique la présence de vaisseaux à des fins de filtrage. On cherche ainsi à y éliminer des structures faiblement contrastées qui ne représentent pas des vaisseaux. D'autres applications
 25 sont également possibles. Pour clarifier l'invention, et pour en donner une explication complète, elle sera décrite dans le cadre de la première application citée.

Le principal défaut des images est matérialisé par la présence du bruit. Le bruit a pour résultat
 30 d'apporter une altération de la valeur du signal de l'image en chaque point de l'image. Cette altération suit une loi statistique. L'altération peut être positive ou négative. Une des caractéristiques du bruit est d'être incohérent. L'altération en un point d'image

n'est ainsi pas corrélée aux altérations du signal d'image en un point voisin dans l'image. Cette incohérence a induit un traitement d'image visant à éliminer le bruit. Ce traitement est un traitement par lequel, dans le principe, on remplace le signal d'image en un point de l'image par une combinaison (par exemple une moyenne) des signaux dans des points d'image voisins de ce point. Ce traitement est équivalent à un filtrage spatial.

10 Un tel filtrage spatial présente un inconvénient inhérent à son principe. Il gomme en effet la présence des petites structures puisque le signal d'image de ces petites structures est amorti par le signal d'image des structures qui avoisinent ces petites structures. En fin de compte elles disparaissent. Ceci est particulièrement gênant quand, par exemple pour le dépistage du cancer du sein, on cherche à révéler la présence des micro-calcifications à l'intérieur d'un tissu. Le signal d'image de ces micro-calcifications est alors moyenné avec le signal d'images des tissus avoisinants: on ne le voit plus.

Pour résoudre ce problème d'une autre façon on a déjà tenté de remplacer le filtrage spatial par un traitement de contraste dans lequel on relève tous les minima ou maxima du signal d'image. Un minimum ou maximum du signal d'image est une valeur du signal d'image correspondant à un lieu particulier de l'image. On dit alors, par extension, que ce lieu est lui-même un minimum ou un maximum de l'image. Pour ce lieu particulier de l'image tous les points d'image directement voisins et contigus à ce point présentent des signaux d'image dont la valeur est plus grande (ou plus petite s'il s'agit d'un maximum). Un minimum (ou un maximum) peut aussi être un ensemble de points voisins,

de même valeur de signal d'image, et tels que tout voisin de cet ensemble a un signal d'image dont la valeur est strictement supérieure (respectivement inférieure) à celle du signal d'image des points de l'ensemble. Cet ensemble de points voisins de même valeur de signal est appelé un plateau. Un point d'image est considéré comme directement voisin d'un autre point d'image lorsqu'on ne peut trouver de points intermédiaires entre ce point et son voisin direct.

10. Lorsqu'il s'agit de signaux d'image numérisés les échantillons voisins du signal se réfèrent bien entendu à des points d'images voisins. Un maximum du signal d'images correspond, dans les mêmes conditions, à un lieu de l'image dont tous les voisins directs présentent des signaux d'image plus faibles. Un tel traitement de contraste n'est malheureusement pas efficace car il présente sur un pied d'égalité les altérations du signal d'image résultant du bruit et les modifications de ce signal résultant de la présence des structures que l'on veut montrer.

Dans la suite de cet exposé on présentera pour simplifier un signal vidéo - ligne analogique de télévision. On expliquera le principe des traitements de l'invention sur un tel signal. Puis on appliquera ce traitement à une image à deux dimensions. Enfin, en expliquant le traitement numérique d'un tel signal analogique on en présentera une généralisation à trois dimensions.

Dans un signal de télévision, en monochrome pour simplifier, on note une évolution temporelle (liée à une description spatiale d'une ligne) d'un signal de luminance. Ce signal de luminance présente des minima et des maxima. Pour les repérer on peut regarder pour chaque point, ou plutôt pour chaque plateau, si les deux

voisins aux extrémités du plateau ont des valeurs de
 luminance inférieures ou supérieures. Si c'est le cas,
 on dit que le point est un maximum (ou un minimum). Pour
 une image à deux dimensions, un processus analogue peut
 être mis en place et on testera la valeur de luminance
 de tous les points à la frontière du plateau. D'autres
 solutions de repérage des maxima (ou des minima)
 existent comme par exemple celle qui consiste à faire
 une reconstruction géodésique numérique. Cette technique
 est également publiée dans le premier article cité. On
 ne s'attachera pas à détailler cette étape car toutes
 les méthodes conduisent au même résultat.

Ces méthodes ne conduisent malheureusement qu'à
 repérer les maxima (ou minima), elles ne servent pas à
 les qualifier. Dans l'invention pour évaluer le
 contraste des structures correspondant à ces maxima ou
 ces minima, par exemple pour qualifier ces maxima ou
 minima comme représentant soit du bruit, soit des
 structures recherchées, on a eu l'idée de mesurer les
 hauteurs de ces maxima, ou les profondeurs de ces
 minima. Ces mesures sont ensuite comparées à un seuil.
 Quand les mesures sont inférieures au seuil on décide
 que les maxima, ou minima, concernés par cette mesure
 représentent du bruit. Dans le cas contraire on les
 retient comme des index pointant sur des structures à
 identifier.

L'originalité de l'invention tient au type de la
 mesure effectuée. La profondeur d'un minimum sera ainsi
 égale, de préférence, à la différence minimum entre,
 d'une part, la valeur de luminance du minimum étudié et,
 d'autre part, la valeur de luminance du point de plus
 forte luminance qui se trouve sur un chemin qui permet
 d'accéder à un point avec un signal de luminance plus
 faible que celle de ce minimum. Cette nouvelle mesure de

La différence, ou de hauteur, est appelée dynamique. Ces mesures sont ensuite comparées à un seuil. Quand les mesures sont inférieures au seuil, on conclut que les maxima ou minima représentent du bruit ou au moins des structures de faibles contraste. Dans le cas contraire, on considère les minima ou maxima comme des index pointant sur des structures à fort contraste. Cette mesure permet ainsi de sélectionner des structures sur un critère de contraste.

Lorsqu'on cherche à utiliser cette définition de profondeur pour éliminer les maxima ou minima dus au bruit, la détermination de la valeur du seuil est elle-même liée à un bruit de détermination qu'on accepte. En effet, plus le seuil est élevé plus on élimine du bruit et moins aussi on voit les structures. On a trouvé qu'une bonne valeur de seuil pouvait correspondre à une mesure de la moyenne du bruit à l'endroit de la mesure.

Pour la mesure de la hauteur des maxima ou de la profondeur des minima on peut retenir plusieurs techniques. On a remarqué cependant que la technique préférée permettait de repérer la présence de ces maxima ou minima en n'importe quel endroit de l'image sans être influencé par ailleurs par le fait que le signal d'image dans l'environnement de ces maxima ou minima est lui-même globalement fort ou faible en valeur absolue. Afin de simplifier encore l'explication de l'invention, cette explication sera limitée à la recherche de la profondeur des minima. Mais il faut bien comprendre que par dualité elle s'applique aussi à la recherche de la hauteur des maxima.

Dans la technique préférée on commence par chercher un minimum. On prend par exemple le premier trouvé sur le signal vidéo. A partir de ce minimum on explore les

voisins dans une première direction. On s'arrête d'explorer quand, dans cette première direction, on trouve un point dont le signal d'image est inférieur au signal d'image du minimum dont on est parti. On retient alors, pour ce minimum et pour cette première direction, comme profondeur le maximum de différence rencontrée entre la valeur de ce signal d'image au minimum et la valeur du signal d'image des points ainsi explorés. Pour un signal vidéo ligne on explore ensuite l'autre direction, dans l'autre sens. On trouve alors un autre maximum de différence pour cette autre direction. En définitive, on retient comme profondeur de ce minimum, on parle alors de dynamique du minimum, le minimum de ces deux maxima de différence trouvés.

Plutôt que de s'arrêter d'explorer lorsqu'on a trouvé un point dont le signal d'image est inférieur à celui du minimum dont on est parti, on peut s'arrêter deux ou trois minimum plus loin. Ou bien même on peut s'arrêter lorsque la différence devient elle-même supérieure au seuil fixé. On peut aussi retenir comme dynamique le maximum des différences maxima, ou bien la différence placée en second, etc.... On peut encore limiter l'environnement à un n ième maximum rencontré à partir du minimum étudié. Dans tous les cas on explore ainsi l'image sur un voisinage dont la dimension n'est pas figée géographiquement mais dont la taille est liée à l'évolution plus ou moins contrastée du signal d'image. Puis, dans ce voisinage, on attribue au minimum étudié une dynamique fonction de la valeur du signal d'image à ce minimum et à un point caractéristique de ce voisinage. On recommence cette démarche, bien entendu, pour tous les minima.

Une définition similaire se présente bien entendu pour la recherche et la quantification des maxima. On

peut utiliser la dynamique élaborée selon les principes de l'invention pour différencier des extrema associés à des objets de ceux dus au bruit. Mais on peut aussi l'utiliser pour discriminer des objets quelconques entre eux sur des critères de contraste.

L'invention a donc pour objet un procédé d'analyse d'image, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- on repère les minima ou maxima d'un signal de l'image ;
- on mesure pour ces minima ou maxima une dynamique de signal fonction de l'environnement des points d'image correspondants à ces minima ou maxima,
- on extrait de ces minima ou maxima ceux dont la dynamique est supérieur à un seuil, et
- on analyse l'image en fonction de la liste des points d'image correspondants aux minima ou maxima extraits.

Le reste de l'analyse est classique. Il ne sera pas détaillé ici. Dans un exemple cette analyse résulte en un contourage comme indiqué ci-dessus.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent. Celles-ci ne sont données qu'à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures montrent :

- figure 1 : le principe de la quantification des minima et maxima d'un signal vidéo (dans un exemple à une dimension) ;
- figure 2 : le principe ci-dessus appliqué à une image à deux dimensions ;
- figure 3 : l'organigramme de la succession des opérations nécessaires pour mener à bien la quantification de la dynamique ;

- figure 4 : le schéma de principes des moyens informatiques nécessaires pour mettre en oeuvre l'invention;

- figure 5 : une représentation plus précise concernant la nature des chemins le long desquels on cherche les minima ou maxima;

- figure 6 : une représentation des effets du traitement de l'invention.

La figure 1 représente le principe de la quantification des minima (ou des maxima) d'un signal vidéo. L'explication va dans un premier temps être donnée en référence à un tel signal vidéo analogique bien que, comme on l'a expliqué précédemment le traitement sera fait de préférence de manière numérique.

Le signal vidéo représenté a une amplitude mesurée sur un axe A et évolue avec le temps t . Ce signal vidéo passe par un ensemble de minima notés respectivement et successivement dans le temps $M_3, M_1, Q, P, M, N, O, M_2$. Les valeurs du signal d'image, du signal vidéo, à l'endroit de ces points prennent respectivement les valeurs $m_3, m_1, q, p, m, n, o, m_2$. Ce signal rencontre également des maxima dont quelques uns sont indiqués, les maxima Y et Z et dont les valeurs prennent progressivement des valeurs a, b, c, d, e, f, g et, aux points Y et Z les valeurs y et z.

Selon l'invention on commence déjà par repérer tous les minima (ou maxima) du signal d'image. Ce repérage est par exemple effectué en comparant pour chaque point le signal d'image à celui de ses deux voisins. Lorsqu'on a affaire à un plateau, on compare la valeur du signal des points du plateau à la valeur du signal des voisins des deux extrémités du plateau. Si les valeurs de signal des voisins sont strictement supérieures, on sait qu'on est en présence d'un minimum. De même, si les deux

les voisins ont des valeurs strictement inférieures, le plateau est un maximum. Ou même on peut repérer les changement de signe de la dérivée de ce signal d'image en le faisant passer dans un filtre de type passe haut dérivateur. On a donc ainsi repéré $M_3 M_1 Q P M N O M_2$. On va maintenant estimer la dynamique de chacun de ces minima. D'une manière préférée selon ce qui a été indiqué précédemment on va rechercher pour chaque minimum quel est le minimum voisin dont la valeur du signal d'image serait inférieure à la valeur du signal d'image du minimum étudié. Par exemple, si on étudie le minimum M la valeur des signaux d'image des minimum P et Q n'est pas inférieure à celle de M. Par contre, la valeur m_1 du signal d'image du minimum M_1 lui est inférieure. Dans une direction, allant ici en remontant le temps, le voisinage déterminé selon l'invention pour M est ainsi l'ensemble des points compris entre M et M_1 . On effectue une même discrimination dans l'autre direction, dans le sens des temps croissants du signal vidéo. On rencontre après le minimum M les minima N et O (dont la valeur du signal d'image est supérieure à la valeur du signal d'image de M) puis le minimum M_2 dont la valeur m_2 du signal d'image est inférieure à celle de M. Sur la droite, le voisinage de M et donc limité par M_2 .

L'ensemble des voisins de M est donc dans le cas présent l'ensemble des points d'image compris entre M_1 et M_2 . Dans chaque direction on repère quel est le maximum du signal d'image compris dans le voisinage. Dans le sens où on remonte le temps ce maximum est atteint au point d'image Y et la valeur de ce signal vaut y. En parcourant le temps dans le sens croissant ce maximum est atteint au point Z et la valeur du signal d'image correspondant est z. Dans un exemple on a dit

qu'on retiendrait comme point caractéristique du minimum (M), pour l'ensemble des directions d'exploration, (ici les directions dans le sens du temps et en remontant le temps), le maximum (Y) du voisinage dont la valeur du signal est inférieure aux valeurs de signal des autres maxima des autres directions d'exploration. Ou bien encore, on retient un maximum pour chaque direction d'exploration (ici, Y et Z correspondant respectivement aux directions dans le sens du temps et en remontant le temps). Dans un exemple, on a dit que parmi ces maxima, on conservait le maximum dont la valeur est la plus faible: le minimum maximorum Y dans le cas présent. Autrement dit, le point caractéristique ici est Y et la dynamique du point M est égale à $y-m$. En effet Y est le point le plus haut dans le voisinage défini à gauche, Z est le point le plus haut dans le voisinage défini à droite, mais Y est plus bas que Z.

On voit que le voisinage n'a aucune dimension géographique prédéterminée et que la manière de le définir est arbitraire. Elle n'a aucune dimension géographique déterminée parce que la distance qui sépare le point M_1 du point M est totalement aléatoire et ne dépend que du contraste de l'image elle-même. Elle n'est donc pas imposée par un filtre de dimension spatiale déterminée. Elle est d'autre part arbitraire parce qu'au lieu de choisir comme limite le premier minimum M_1 dont la valeur du signal d'image est inférieure à la valeur du signal d'image du minimum étudié M, on aurait pu prendre le deuxième minimum M_2 dont la valeur du signal d'image est elle-même inférieure à la première valeur de signal d'image inférieur au minimum étudié. On voit qu'en agissant ainsi on peut déterminer un voisinage plus ou moins grand, donc par conséquent on peut explorer le contraste d'une manière différente.

Explorer le contraste nécessite ainsi d'une part de déterminer le voisinage et deuxièmement de calculer la valeur de la dynamique. Pour calculer la Valeur de la dynamique on a dit qu'on avait retenu la différence $y-m$ et il est évident qu'on aurait pu trouver un maximum F sélectionné sur un autre critère que celui proposé. Par exemple, on aurait pu retenir une différence $f-m$ qui aurait correspondu au premier maximum F trouvé dans une direction inférieure au plus petit Y des maxima mesurés sur l'ensemble des directions. En définitive toute définition de la dynamique selon l'invention est acceptable à partir du moment où elle respecte la notion de voisinage déterminée en fonction du contraste et la notion de différence entre un maximum et le minimum étudié. Le voisinage est déterminé par la relation entre les niveaux de gris des points successifs dans chacune des directions et le niveau de gris du minimum. Dans chacun des voisinages, le maximum d'intérêt est déterminé par un critère qui peut être, par exemple, le maximum de plus forte valeur dans le voisinage.

Sur un signal vidéo il est évidemment facile de déterminer deux directions d'exploration. Dans des images à deux dimensions, celles qu'on a le plus l'habitude de voir, le nombre de directions d'exploration est très grand. Autour d'un minimum tous les rayons d'un cercle sont ainsi des directions d'exploration. Le schéma de principe montré sur la figure 1 n'est pas transposable tel quel, bien que son esprit sera conservé. En outre les rayons d'un cercle, malgré leur infinité, ne sont seulement que quelques-unes des directions à explorer. En effet les directions d'exploration ne sont pas nécessairement rectilignes. La notion de voisinage doit être étendue. En effet sur une image à deux dimensions, il n'y a plus

un chemin unique entre deux points: toutes les lignes courbes ou brisées reliant les deux points sont acceptées. Par exemple la figure 5 montre, à partir d'un bassin versant 100, une direction d'exploration 101 rectiligne (vue du dessus) pour aboutir à un bassin versant 102. La direction 101 culmine à une altitude élevée 103. Par contre, si on emprunte un chemin 104 non rectiligne passant par les cols 105 et 106 et par un bassin versant intermédiaire 107, la plus haute altitude rencontrée est celle de l'un de ces cols 105 ou 106. Selon ce qui a été dit précédemment l'altitude du col le plus haut sera retenu pour calculer la dynamique. Cette dernière altitude conduira à une dynamique plus faible que si on avait retenu l'altitude 103. On montrera par la suite comment l'algorithme choisi de traitement par FAH permet de tenir compte d'une manière préférée de l'existence de ces cols. Néanmoins on pourrait accepter également une autre définition du mode d'exploration, en n'acceptant que les directions rectilignes par exemple.

Sur la figure 2 on a représenté schématiquement un profil d'un paysage topographique. Ce profil est en tout point semblable au signal vidéo de la figure 1, pour mieux faire comprendre. Ce paysage est susceptible d'être inondé à partir d'une source injectant son liquide depuis un plan contenant l'axe des abscisses. Ainsi, il y a un petit tuyau susceptible de propager, depuis le fond, une inondation vers chaque minimum.

Dans un premier temps pour effectuer ce type d'opération on doit donc repérer tous les minima du signal de l'image. Dans ce but tous les points d'image sont pris, l'un après l'autre, et la valeur de leur signal d'image est comparée à celles de leurs voisins ou à celle des voisins de la frontière du plateau dans le cas d'un plateau. Dans une image à deux dimensions les

voisins directs d'un point d'image, d'abscisse et d'ordonnée données, sont des points dont les abscisses et/ou les ordonnées diffèrent des abscisses et ordonnées du point choisi d'une seule unité. Il est donc facile pour chacun des points d'une image de disposer de la carte de ses voisins directs. Pour tous ces voisins directs, il est également possible de savoir s'il ont une valeur de signal d'image inférieure à la valeur du signal d'image du point étudié, ou supérieure, ou bien inférieure pour certains de ces points et supérieure pour d'autres. Dans le premier cas, on dira que le point étudié est un maximum, dans le second qu'il est un minimum et dans le troisième qu'il n'est ni l'un ni l'autre. Dans le cas d'un plateau la procédure est légèrement plus complexe. Il faut considérer tous les points voisins de la frontière du plateau. Si tous les voisins du plateau sont d'une altitude supérieure, le plateau est un minimum. Si tous les voisins du plateau sont d'une altitude inférieure le plateau est un maximum. On est donc ainsi capable simplement de déterminer la liste des points qui sont des minima (ou des maxima) de l'image.

La figure 2 représente une coupe, prise selon une dimension, d'un tel signal d'image représentant le paysage. L'amplitude A n'est pas nécessairement une altitude géographique. Elle peut tout aussi bien être une valeur de luminance et représenter ainsi n'importe quel paramètre physique mesuré dans un corps étudié. Une fois que la liste des minima M3 à M2 est connue, on range chacun des points de cette liste dans une file d'attente dite hiérarchisée FAH, du type de celle décrite dans l'article cité ci-dessous. Pour ranger les points en pratique on range les adresses (correspondant aux coordonnées des points de l'image) dans des files

d'attentes. Chaque adresse de point est rangée dans une file qui correspond à la valeur du signal d'image du point. Il y a autant de files que de valeur possible pour le signal. Ces files sont rangées les unes par rapport aux autres selon la valeur croissante du signal qu'elles représentent lorsqu'on travaille sur les minima et selon la valeur décroissante du signal lorsqu'on travaille sur les maxima.

La file d'attente hiérarchisée possède alors, dans sa première file, un point dont la valeur du signal d'image est plus petite que tous les minima de ce signal d'image. Il est le premier point qui doit être extrait de la file d'attente. Pour ce point, par exemple ici le point M_3 , on cherche quels sont ses voisins directs. On utilise pour rechercher ses voisins, une même démarche que celle qui a permis de déterminer les minima. Dans une image à deux dimensions, on peut ainsi déterminer huit points situés sur les médianes et les diagonales d'un carré entourant le point M_3 étudié. On introduit ces huit points dans la file d'attente hiérarchisée, chacun à un niveau hiérarchique qui correspond à sa valeur de signal d'image. Sur une image à deux dimensions, on peut définir d'autres relations de voisinage et un point aura, par exemple, quatre ou six voisins. Il en aura six par exemple si la maille autour du point est hexagonale. Le type de voisinage n'influe aucunement sur le principe de l'algorithme qui reste identique quel que soit le nombre des voisins considérés. De la même façon, sur une image à trois dimensions, on pourra définir des relations de voisinage avec par exemple 26 voisins. En effet, si l'image est une image en trois dimensions, chaque point a 26 voisins. On peut, avec certaines hypothèses, limiter le nombre des voisins étudiés à moins que 26.

On introduit donc les voisins dans la file d'attente, et on leur donne par ailleurs à ce moment un label " lm_3 " montrant qu'ils ont été introduits dans la file d'attente à cause de leur voisinage au point M_3 .

- 5 Cette introduction est cependant conditionnée par le fait que ces points n'y ont pas déjà été introduit avec le label " lm_3 ".

Le fait de leur attribuer un label revient à considérer qu'on a tenté d'inonder le paysage de la figure 2 à partir de la source souterraine et que les points voisins de M_3 sont ainsi les premiers noyés. Ils sont en quelque sorte mouillés par le liquide de M_3 .

En expliquant les choses de cette façon on voit qu'il y a une équivalence bien compréhensible entre le traitement informatique nécessaire, et ce qui se passe dans l'inondation simulée. Petit à petit on extrait les points de la file d'attente hiérarchisée et bien entendu les voisins de M_3 , qui ont été introduits dans cette file d'attente à des niveaux hiérarchiques faibles, 15 puisque leur niveau de signal est lui-même faible, vont être les premiers extraits avant, par exemple, qu'on arrive à devoir extraire le point M_1 .

Chaque point extrait fait entrer ses voisins dans la file d'attente sauf si ceux-ci y sont déjà où s'il y 25 ont été. En effet, si un point a déjà été inondé, il n'est pas nécessaire de l'inonder à nouveau. Dans ce but le mot mémoire attribué à chaque point introduit dans la FAH est muni d'un indicateur I. Cet indicateur I, différent du label, est mis à une certaine valeur, par 30 exemple la valeur binaire 0, pour tous les points avant le début de l'inondation. Lors de la première introduction des points dans la FAH, les indicateurs des points changent de valeur, ils prennent par exemple la valeur binaire 1. Par la suite, la lecture de cet

indicateur, pour chaque point, préalablement à l'introduction de ce point dans la FAH, permet de ne pas y remettre à nouveau si par ailleurs le label pour lequel il devrait y être remis est le même que celui que ce point possède déjà. Dans notre exemple, tous les points d'image dont la valeur du signal d'image est inférieure à m_1 reçoivent un label " lm_3 ".

Lorsque tous les points de valeur de signal strictement inférieure à m_1 ont été inondés (extrait de la FAH), le minimum M_1 et tous les points de valeur de signal égale à m_1 seront extraits à leur tour de la FAH avant d'inonder leurs voisins non encore inondés. Puis les points dont la valeur est supérieure à m_1 et inférieure à m_2 recevront progressivement les labels

15 " lm_1 " ou " lm_3 " selon que leur introduction dans la file d'attente a été provoquée par leur appartenance au voisinage de M_3 ou de M_1 . Ce phénomène se poursuit jusqu'à ce que, à la fois dans la file d'attente et en niveau d'inondation, on arrive au niveau de signal m_2 .
20 Dans ce cas, une troisième famille de points naît qui possède le label " lm_2 " à côté des points possédant maintenant les labels " lm_1 " et " lm_3 ".

Le niveau continue à monter. Ceci signifie qu'on continue à ranger dans la file d'attente les voisins de
25 M_1 , M_2 ou M_3 , et à les extraire au fur et à mesure jusqu'à ce qu'on arrive au point A qui doit à son tour être mis dans la file d'attente, par exemple, parce qu'il est voisin d'un point inondé par la nappe provenant de M_1 . Le point A reçoit donc, en plus de sa
30 valeur de signal d'image a, un label " lm_1 " montrant la cause de son introduction dans la file d'attente hiérarchisée. Mais, le point A étant frontière entre le bassin versant M_3 et le bassin versant M_1 il va être à nouveau injecté dans la file d'attente parce qu'il est

voisin d'un des points du bassin versant M_3 quand ce point du bassin versant M_3 lui-même sera extrait. A est un maximum mais ce n'est pas nécessairement le cas sur une image à deux ou trois dimensions. En effet sur une

5 image à deux dimensions, il y a une multitude de chemins (successions de points voisins) qui conduisent d'un point (le minimum étudié par exemple) à un autre point (un minimum de plus basse altitude par exemple). Parmi tous les chemins possibles, un est intéressant: c'est

10 celui dont le maximum est le plus bas. C'est en fait par lui qu'en pratique se propage l'inondation. Les nappes issues des deux minima entrent en contact à l'endroit du sommet de ce chemin. A peut ainsi être un col tel que 105 ou 106.

15 Au moment où le point A doit être injecté à nouveau dans la file d'attente, pour recevoir maintenant le label " lm_3 ", par exemple, on constate un conflit puisque le point A possède déjà le label " lm_1 ". Rendu à ce stade il est possible de calculer la dynamique du minimum M_1 .

20 En effet, étant donné que M_1 a un signal d'image supérieur à celui de M_3 , on peut calculer la dynamique de M_1 . Cette dynamique est tout simplement égale à $a - m_1$. Selon ce qui a été indiqué précédemment la dynamique $a - m_1$ est bien la différence entre le signal (a) d'image

25 correspondant au plus petit des maxima (A) voisins du minimum M_1 étudié et la valeur du signal d'image m_1 en ce minimum étudié. On voit que la technique d'inondation, et l'étude des voisinages indiquée ci-dessus, permettent d'appréhender d'une manière

30 immédiate toutes les directions d'exploration puisqu'ici le voisinage n'est pas nécessairement un voisinage à une dimension mais est un voisinage à deux dimensions. La liste des points voisins introduits dans la file d'attente sert de mode d'exploration dans toutes les

directions à la fois.

Au moment de l'exploration, lorsqu'un point est extrait de la file d'attente hiérarchisée on y fait rentrer ses voisins en prenant soin que ces voisins n'aient pas déjà été entrés dans la file d'attente, avec le même label. S'ils sont sollicités pour y entrer avec le même label, on ne les fait pas entrer. S'ils sont sollicités pour y entrer avec un label différent on détecte à ce moment là que ce sont des points frontières. Ceci est une technique pour détecter les points particuliers. Il en existe d'autres. Par exemple, au moment de rentrer un point X dans la FAH, on peut n'effectuer que le test vérifiant qu'il ne s'y trouve pas déjà. Ensuite, lorsque ce point est sorti de la file d'attente, on regarde s'il existe des points inondés avec des labels différents dans son voisinage. Si c'est le cas, ce point est alors un point frontière et il est alors possible de calculer la dynamique d'un des minima alimentant les nappes entrant en contact comme expliqué précédemment.

Une fois qu'un conflit s'est produit, après l'extraction du point A par exemple, tous les voisins inondés du point en conflit (les voisins inondés de A et les voisins inondés des voisins inondés de A) reçoivent le label du minimum le plus profond: ici le label "lm₃", celui de M₃ et non celui de M₁. Dans notre exemple tous les points ayant reçu le label "lm₁", se voient affecter le label "lm₃". Ce procédé permet de continuer l'inondation pour calculer la dynamique des autres minima en ne tenant plus compte du minimum M₁ dont la dynamique est maintenant connue. Dans notre exemple, au cours de l'inondation, le conflit suivant apparaîtra lorsque les nappes issues des minima P et M entreront en contact. On calculera la dynamique de P (car ce minimum

a une valeur de signal plus élevée que celle du minimum M), et les points inondés ayant le label "lp" prendront le label "lm". L'inondation continue et les nappes issues de M₃ et Q entreront en contact et on pourra
 5 alors calculer la dynamique de Q. Et ainsi de suite jusqu'à ce que la totalité du relief soit inondée.

Le concept de l'inondation est un traitement de type connu et donc facilement mis en oeuvre. On l'utilise par exemple pour calculer la ligne de partage
 10 des eaux selon le deuxième article cité. Dans l'invention on gère les conflits différemment lorsque deux nappes entrent en contact. Pour la LPE, les deux nappes entrées en contact continuent à inonder leurs voisins non encore inondés, sans que les nappes ne se
 15 mélangent ou s'absorbent. Cette méthode permet de calculer les bassins versants associés aux minima. Dans l'invention lorsque deux nappes (ou plus) entrent en contact, seul la label de la nappe dont le minimum est le plus profond est conservé. Les autres n'interviennent
 20 plus dans le processus d'inondation. Et la dynamique de leur minimum est calculé.

Une fois qu'on connaît la dynamique pour chacun des minima, on peut les trier en comparant les minima pour lesquels la dynamique est inférieure ou bien est
 25 supérieure à un seuil. Si elle est inférieure à un seuil on comprend qu'elle sera vraisemblablement synonyme d'une faible variation de contraste par rapport à son entourage et que par conséquent on pourra éliminer ces points comme non caractéristiques du phénomène physique
 30 étudié et qu'on cherche à montrer. Le seuil qu'on peut retenir est de préférence celui qui correspond au bruit. La mesure de ce dernier peut être faite sur toute l'image ou bien localement. Dans son principe elle comporte le moyennage des signaux d'image et la

sommation des valeurs absolues des différences entre les signaux d'images et leur moyenne, point d'image par point d'image.

Ainsi pour reconstituer un seuil on agit

5. préférentiellement de la manière suivante. On filtre le signal avec un filtre spatial dont la dimension est de nature à faire disparaître les petites structures et à révéler les grosses structures. On soustrait ensuite le signal ainsi filtré du signal original et on évalue

10. ainsi le bruit de mesure. On mesure localement la valeur de ce bruit de mesure et on s'en sert localement comme valeur de seuil pour comparer cette valeur de seuil aux

dynamiques des minima détectés. Ainsi, d'un endroit d'image à l'autre la valeur de seuil servira à

15. déterminer si un minimum représente un point caractéristique de l'image peut être modifié localement.

Ceci permet en particulier de tenir compte des effets de non linéarité de la révélation du contraste sur des radiographies.

20. La figure 3 montre un organigramme utilisable pour mettre en oeuvre le procédé décrit schématiquement à la

figure 1. Après un début au cours duquel on repère tous les minima, on sélectionne un minimum M de valeur de

signal m . On explore une à une toutes les directions

25. possibles T d'évolution de ce signal. Dans ces directions possibles, on cherche au cours d'un premier test si un point X voisin d'un point courant étudié a

une valeur de signal x telle que x est plus grand que m . Si c'est le cas on regarde si x est supérieur à un seuil

30. ST courant. Si ce test est vérifié, on donne à ST la valeur x . Au début ceci est le cas puisqu'on a choisi justement ce seuil courant ST égal à la valeur m . Ce

test se produit sur tous les voisins successifs tant qu'un signal inférieur à x n'est pas trouvé. Les voisins

successifs comportent bien entendu les voisins des voisins et ainsi de suite. Ainsi pour la direction allant de M vers M_1 , la valeur ST affectée à cette direction est égale à y . Quand une direction a été explorée, on explore une autre direction, à condition qu'on ne les ait pas toutes explorées. Une fois qu'on a exploré toutes les directions, lorsque T est égal ou supérieur à T_{max} on détermine que la dynamique du point M est égale au minimum des valeurs ST choisies, moins la valeur m du minimum M étudié. Ceci étant effectué, on refait le même travail pour le minimum suivant dans la liste des minima élaborée au début et ainsi de suite.

La figure 4 montre l'ensemble des matériels utilisables pour mettre en oeuvre le procédé de l'invention. Une mémoire d'image 1 comporte un certain nombre de pages mémoires 11, 12, 13 et 14 munies chacune d'un certain nombre de lignes de points d'image telles que 111, 112, 113, etc... Cette mémoire d'image 1 est en relation par l'intermédiaire d'un bus d'échange 2 avec une unité arithmétique et logique 3 qui met en oeuvre un programme contenu dans une mémoire programme 4. La mémoire programme 4 est également en relation avec l'unité arithmétique et logique 3 par le bus 2. Des moyens de visualisation 5 également connectés au bus 2 permettent de représenter les images traitées par l'unité 3. Selon l'invention on stocke dans une mémoire 6 la liste des minima M associée à la valeur m de leur signal d'image ainsi qu'à la mesure de leur dynamique. On peut également stocker dans une autre mémoire 7 les valeurs des maxima ST correspondant aux différentes explorations effectuées.

Dans la suite du traitement de l'image on utilise la mémoire 6 pour constituer une banque de marqueurs d'image. Dans une application qu'on cherche à entourer

[illegible]

24

REVENDICATIONS

1. Procédé d'analyse d'image, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- on repère les minima ou maxima d'un signal de l'image ;

5 - on mesure pour ces minima ou maxima une dynamique de signal fonction de l'environnement des points d'image correspondant à ces minima ou maxima,

- on extrait de ces minima ou maxima ceux dont la dynamique est supérieur à un seuil, et

10 - on analyse l'image en fonction de la liste des points d'image correspondants aux minima ou maxima extraits.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que

15 - pour mesurer la dynamique d'un minimum, on détermine un voisinage délimité par les points d'images correspondants à une évolution donnée du contraste de l'image,

20 - et on mesure la différence du signal d'image entre ce minimum et un point caractéristique de ce voisinage.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que

25 - on choisit, pour une évolution donnée du contraste, de rechercher les points limites d'images dont la valeur du signal d'image est inférieure à celle du minimum,

30 - et on retient comme voisinage les points intermédiaires situés entre ce minimum et ces points limites.

4. Procédé selon la revendication 2 ou la revendication 3, caractérisé en ce que,

- on choisit comme point caractéristique du voisinage un point possédant, dans une direction, un signal d'image plus grand que tous les autres points du voisinage dans cette même direction,

- on recherche des points similaires ayant les mêmes propriétés dans d'autres directions,

- et on choisit comme point caractéristique parmi ces points similaires celui qui a le signal d'image le plus faible.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que pour déterminer la dynamique,

- on donne, à chaque point correspondant à un minimum du signal d'image, un label représentatif de ce minimum,

- on range tous les points d'image correspondant à ces minima dans une file d'attente hiérarchisée,

- on extrait ces points de la file d'attente hiérarchisée en commençant par le plus petit en valeur,

- on fait rentrer les voisins directs des points extraits dans la file d'attente hiérarchisée au moment de l'extraction de ces points, si ceux-ci ne sont pas déjà dans la file d'attente,

25 - on attribue aux points entrés dans la file d'attente hiérarchisée un label identique à celui du point dont ils sont les voisins et dont l'extraction de la file a provoqué leur entrée, et

30 - on donne comme dynamique à un premier minimum la différence entre la valeur du signal d'image en ce premier minimum et la valeur du signal d'image en un point qui doit entrer dans la file d'attente avec le label de ce premier minimum ainsi qu'avec le label d'un deuxième minimum mais dont la valeur du signal d'image

est plus faible.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que

5 - on donne, aux points d'image qui avaient reçu le label du premier minimum dont on vient de déterminer la dynamique, un label de remplacement correspondant au deuxième minimum dont le signal d'image était plus faible.

10 7. Procédé selon la revendication 5 ou la revendication 6, caractérisé en ce que l'on réitère les étapes 3 et 4, 5 et 6 de la revendication 5 pour calculer de la même façon la dynamique de tous les minima de l'image.

15 8. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que pour donner un label de remplacement

- on crée une table de correspondance des labels pour attribuer aux points voisins du premier minimum le label du deuxième minimum.

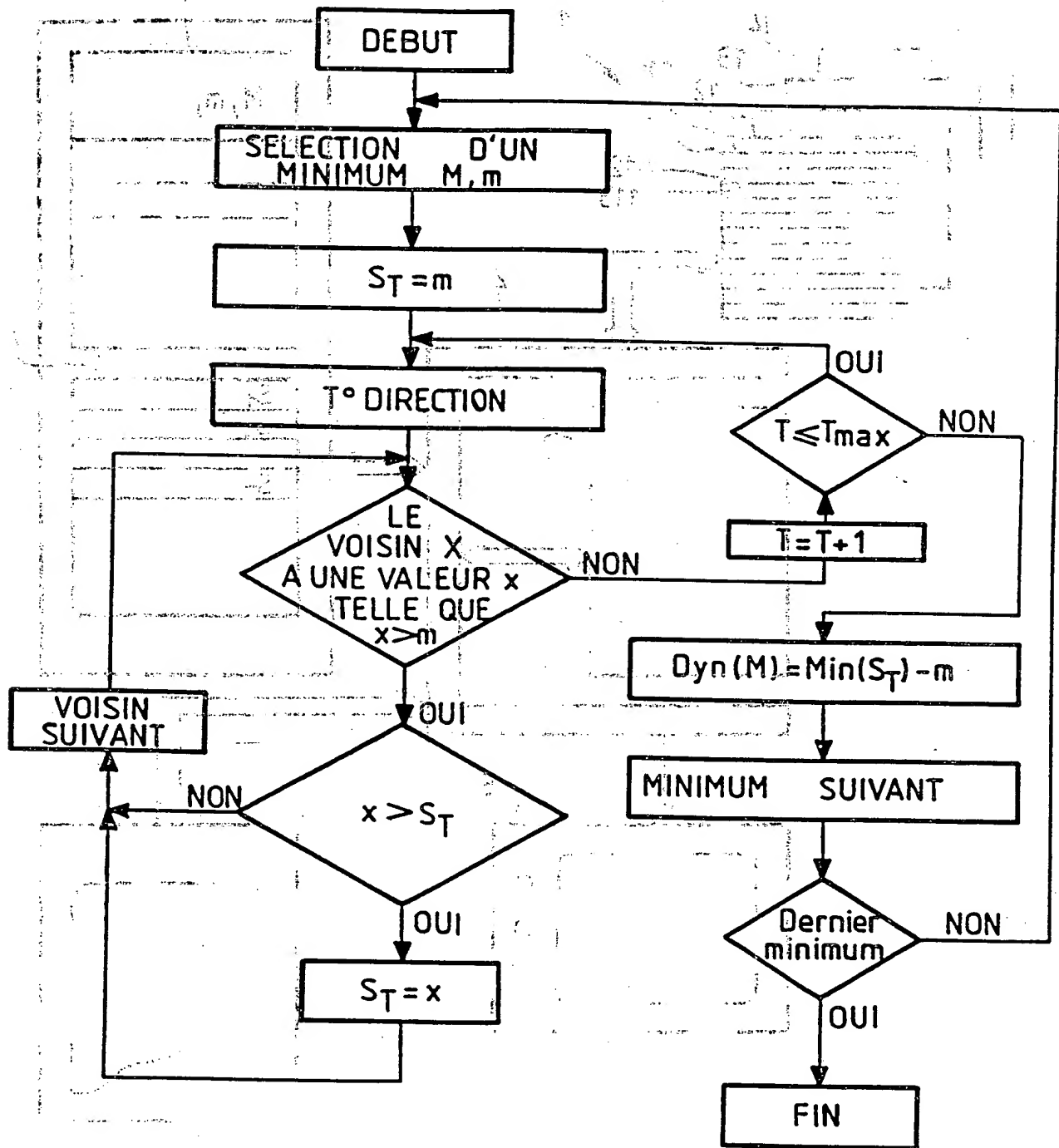
20 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que

- l'analyse d'image comporte une opération de contourage de zones autour des minima ou maxima extraits,

25 - cette opération étant, par exemple, menée selon un procédé de traitement d'images avec ligne de partage des eaux.

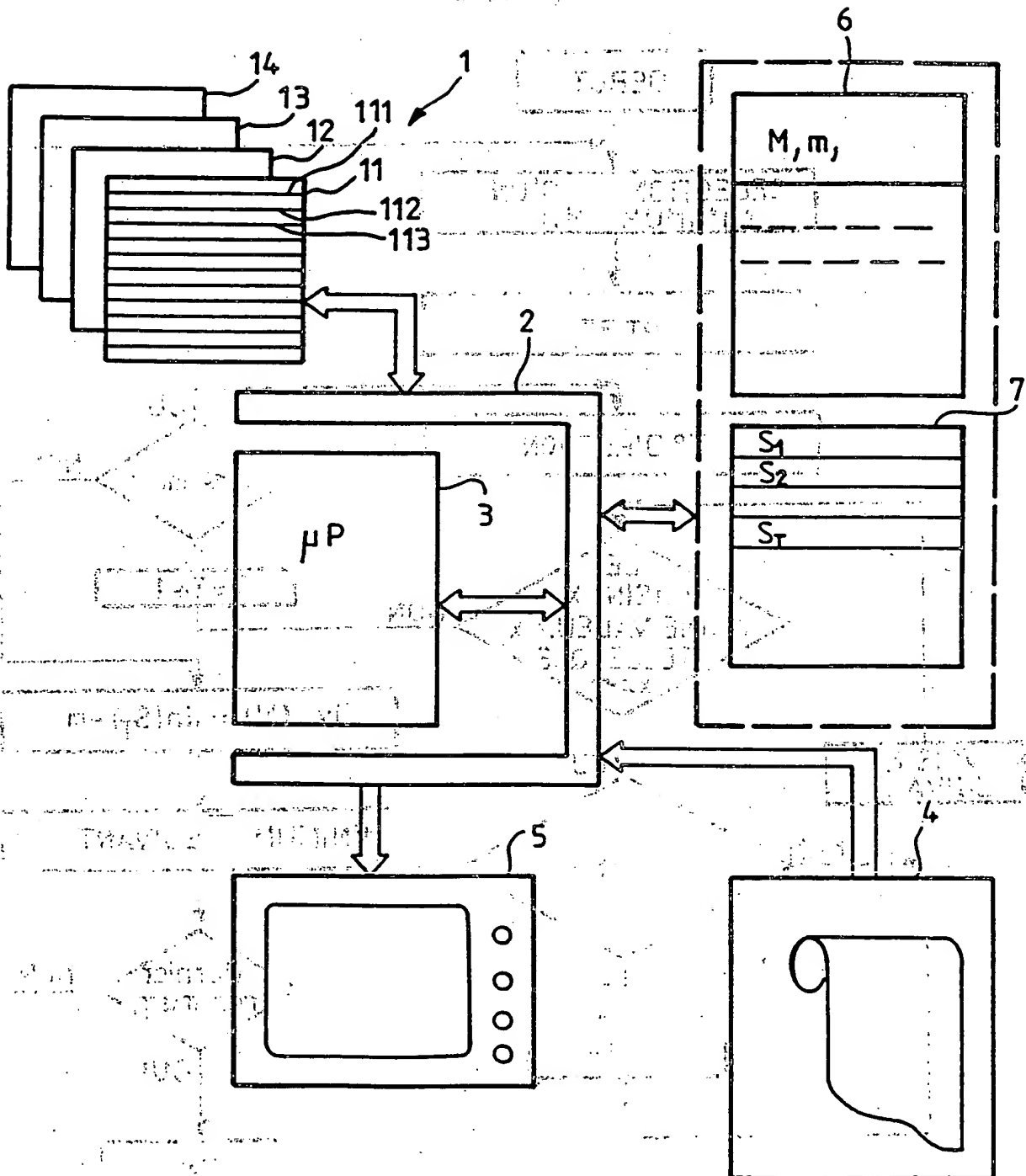
2/4

FIG 3



3/4

FIG. 4



4/6

FIG. 5

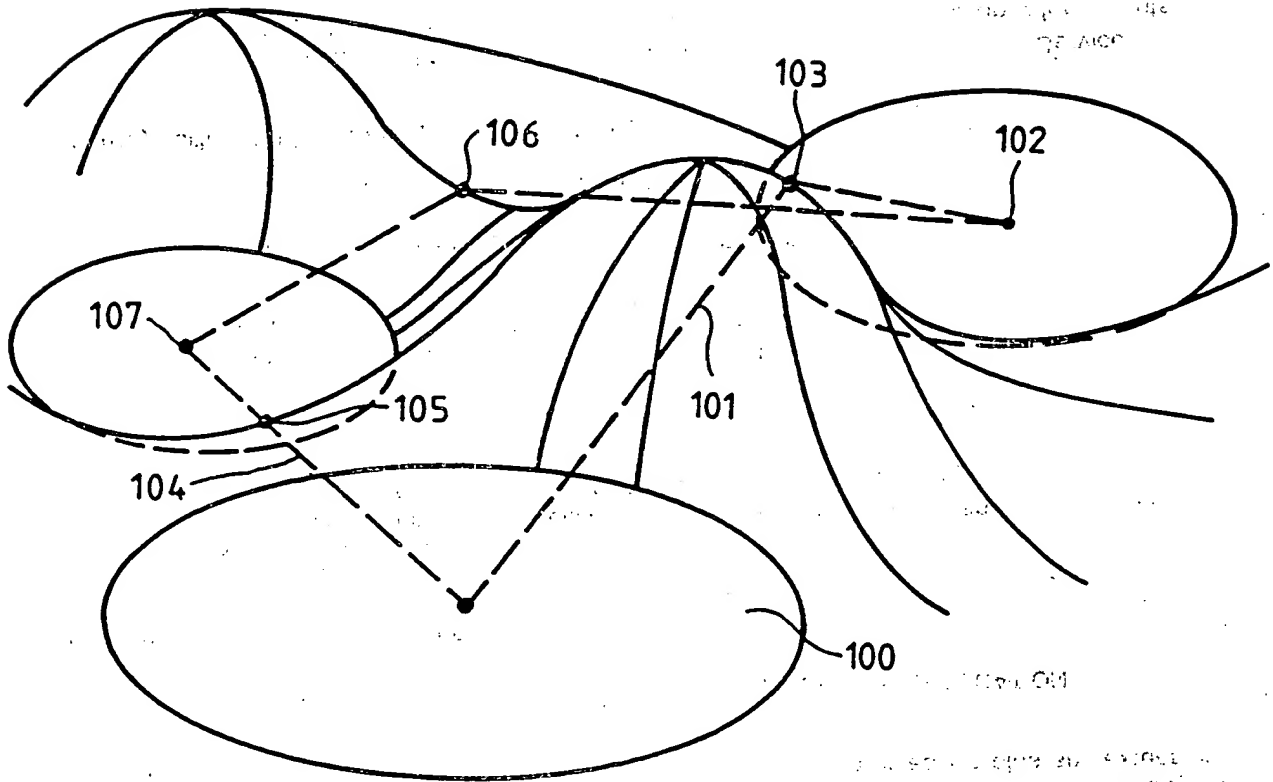
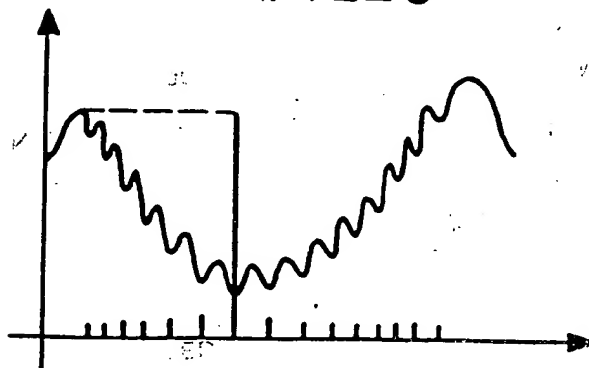


FIG. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)